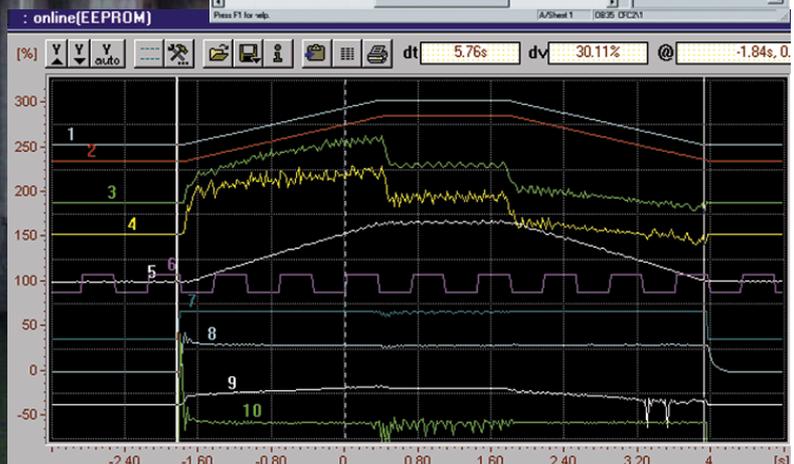
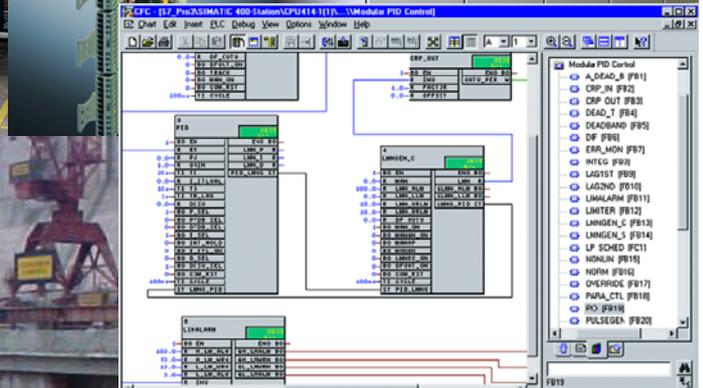
Sistema de Excitação e Regulação Digital de Tensão THYRIPOL D

para máquinas síncronas

Power Generation

SIEMENS

Sistema de excitação e regulação digital de tensão Thyripol D® para máquinas síncronas

Introdução

THYRIPOL D® é o sistema de excitação estática da Siemens, empregado para excitação e regulação da tensão, potência reativa ou fator de potência de geradores síncronos com escovas. Nestes casos, a alimentação do enrolamento de campo ou rotórico é feita diretamente pelo THYRIPOL D, através de conversores estáticos a tiristores em configuração B6C.

Este sistema retira dos terminais da própria máquina síncrona a energia necessária para a excitação, através de um transformador trifásico de média tensão. Este transformador, chamado transformador de excitação, pode ser do tipo a seco ou a óleo, sendo específico para alimentar retificadores totalmente controlados (6 pulsos). O transformador de excitação é protegido por um relé digital de sobrecorrente da família SIPROTEC® da Siemens, instalado nos cubículos de excitação.

O controle da tensão gerada é feito através da variação do instante de tempo em que os tiristores das pontes retificadoras entram em condução. Desta forma, é fornecido ao enrolamento de campo uma corrente contínua regulada, que se ajusta automaticamente às condições de carga da máquina síncrona.

O transformador a seco GEAFOL®, da Siemens, devido às suas excelentes características, é a escolha ideal para a função de transformador de excitação.

Para a excitação de partida (escorvamento ou “field flashing") da unidade é prevista, em geral, a utilização dos serviços auxiliares da usina (em corrente contínua ou alternada). A excitação de partida é desligada quando os retificadores tiristorizados assumem a alimentação do campo, o que ocorre assim que a tensão terminal atinge cerca de 15% de seu valor nominal. Ela também é desligada se transcorrer um tempo de cerca de 10 s (ajustável), sem que a máquina escorve.

A medição das grandezas analógicas, a regulação da tensão e da potência reativa, o controle dos processos de partida e parada, a geração dos valores de referência (*setpoints*), a supervisão do sistema de excitação e o gerenciamento de alarmes são completamente digitais. Estas funções são realizadas por módulos de CPU com tecnologia RISC e aritmética de ponto flutuante. Não se usam transdutores para medição da tensão e corrente do gerador. O poderoso sistema operacional multitarefa do regulador permite especificar diversos tempos de ciclo para as várias tarefas das CPUs. O menor tempo de ciclo programável, associado às tarefas mais rápidas, é de 0,1 ms.

Aspecto da ponte retificadora tiristorizada de 2000A. Notem-se a construção compacta do retificador e o dispositivo de visualização e parametrização incorporado na tampa frontal do equipamento.

Parte de potência

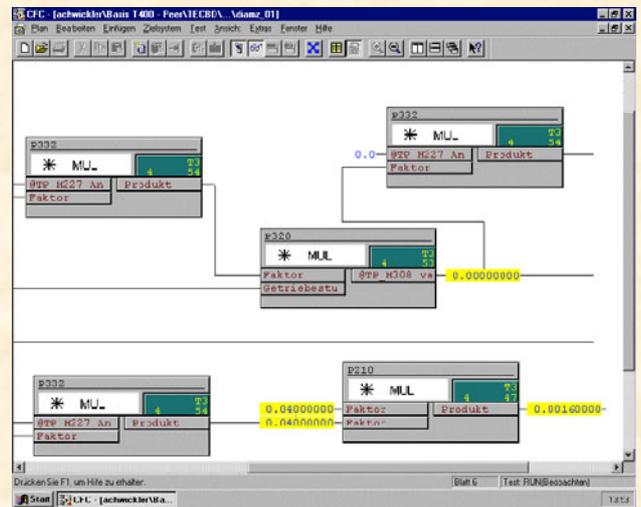
A retificação da corrente é feita por uma ponte retificadora trifásica totalmente controlada (6 tiristores tipo disco), com refrigeração forçada. Os tiristores são protegidos individualmente por fusíveis ultra-rápidos supervisionados. A ponte tiristorizada é dimensionada para suportar com segurança as mais severas condições de sobrecarga do gerador e possui um completo sistema de supervisão e proteção dos tiristores, dispondo, inclusive, de cálculo e indicação da temperatura da junção do tiristor (ponto mais quente).

Opcionalmente, o sistema de excitação pode ser projetado com redundância N+1, ou seja, é fornecida uma ponte retificadora adicional, com seu próprio circuito de disparo e supervisões, no sentido de elevar a disponibilidade do sistema. Neste tipo de configuração, apenas uma ponte retificadora estará conduzindo corrente num dado instante. Na ocorrência de falhas nesta unidade, a outra assumirá instantaneamente a alimentação do campo, de forma absolutamente suave, ou seja, sem quaisquer oscilações na corrente de campo do gerador, garantindo, assim, a continuidade da operação.

Regulador de tensão

A eletrônica de regulação, controle e supervisão é realizada por poderosas CPUs de tecnologia RISC (*Reduced Instruction Set Computer*), com aritmética de ponto flutuante. Esta característica permite à CPU trabalhar diretamente com números reais, sem restrição de faixas e sem necessidade de normalizações. Além disso, o sistema operacional é multitarefa, baseado em prioridades: a CPU executa primeiramente a tarefa associada ao tempo de amostragem mais baixo, ou seja, a mais prioritária. Em seguida, processa aquela com o tempo de amostragem imediatamente superior e assim sucessivamente. Desta forma, uma tarefa menos prioritária poderá ser interrompida varias vezes em sua execução, por tarefas mais prioritárias. Esta forma de processamento garante que o desempenho de um regulador digital de tensão seja comparável ao de um regulador analógico.

A linguagem de programação CFC é extremamente amigável, com inúmeros recursos de testes e edição *on-line*. Além disso, ela desfruta de todas as facilidades oferecidas pelo Windows®.

O *software* é configurado como dois canais de controle: AUTOMÁTICO, para regulação automática da tensão e MANUAL, para regulação da corrente de campo. Quando especificado pelo cliente, são utilizados dois canais automáticos totalmente independentes, cada um com seu próprio canal manual.

O Software de regulação e controle é totalmente gráfico e amigável, facilitando muito a compreensão e a programação.

A alimentação da eletrônica é sempre redundante, sendo tomada das baterias da usina, em corrente contínua, e do transformador de excitação, em corrente alternada.

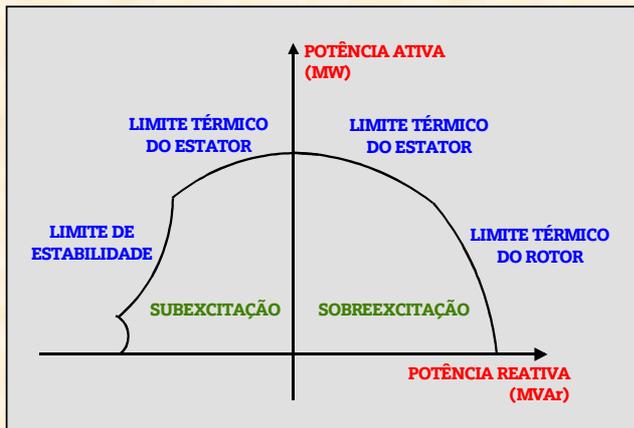
Canal Automático

O canal Automático corresponde ao regulador automático de tensão, que compara o valor real da tensão do gerador com o valor de referência (setpoint) ajustado pelo operador.

A medição da tensão do gerador é feita nas três fases, o que torna a medição mais precisa, contemplando quaisquer desequilíbrios e defasamentos. A formação dos valores reais de corrente e tensão é feita de forma totalmente digital, sem o uso de transdutores.

O valor de referência (*setpoint*) pode ser ajustado tipicamente na faixa de 90% a 110% da tensão nominal do gerador.

Para assegurar a operação segura e estável do gerador, sempre dentro de seu diagrama de capabilidade, estão previstos os seguintes limitadores:

- Sobreexcitação (ação de tempo inverso)
- Máxima corrente de excitação ou *Field Forcing Limiter* (ação instantânea)
- Subexcitação
- Tensão/freqüência (V/Hz)
- Corrente estatórica (ação de tempo inverso)

Na regulação automática de tensão, deve ser garantido que o gerador opere sempre dentro de seu diagrama de capabilidade. Esta função é realizada pelos limitadores.

O regulador automático de tensão inclui também o estabilizador do sistema de potência (PSS), cujo sinal estabilizante é derivado da potência acelerante.

O sistema THYRIPOL D possui adicionalmente um regulador da potência reativa ou do fator de potência do gerador ou de outro ponto da instalação.

Canal Manual

O canal Manual corresponde ao regulador da corrente de excitação, sendo totalmente independente do regulador de tensão.

O valor desejado (*setpoint*) da corrente de campo pode ser variado na faixa de cerca de 10% a 110% do valor da corrente de excitação à plena carga.

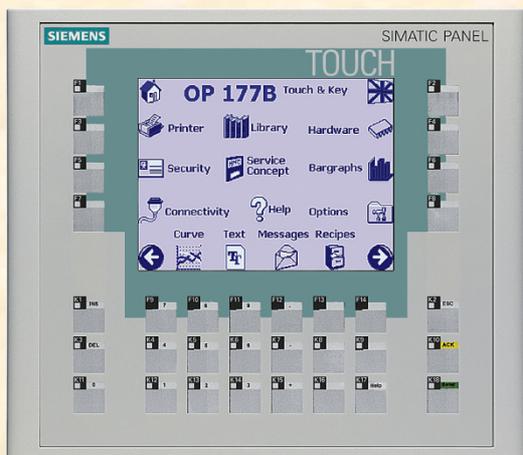
Comutação de Canais e Follow-up

Graças ao *follow-up* bidirecional, a qualquer momento poderá ser feita a mudança de um canal para o outro, diretamente.

Sob certas condições de defeito no regulador automático de tensão, o próprio sistema desencadeia uma comutação automática para o Canal Manual (regulador da corrente de excitação), de forma que o gerador continua excitado mesmo com defeitos no regulador automático de tensão. Na configuração com dois reguladores automáticos de tensão independentes, falhas no regulador automático em operação conduzem à comutação para o outro regulador automático. Nestes casos, uma comutação para o canal manual ocorrerá automaticamente somente se ambos reguladores automáticos estiverem com defeito.

Comando

O sistema está preparado para comando local, a partir da Interface Homem-Máquina (IHM) na porta do painel, ou remoto (a partir de uma sala de comando).

A IHM é colorida, do tipo touch screen e possui adicionalmente teclas funcionais, que podem ser usadas para substituir os comandos na tela. Este aparelho permite visualizar as grandezas do gerador, alterar setpoints, aplicar comandos de operação (Ligar, Desligar, Selecionar Canais, etc.) e fazer diagnósticos, através das mensagens de alarme em texto claro com indicação do instante de tempo em que ocorreram.

Através da interface homem-máquina é feito todo o comando local do sistema de excitação.

A interface com o comando e controle da usina é feita com cablagem convencional (contatos livres de potencial) ou serialmente, através do protocolo Profibus DP (RS485 ou fibra ótica). Outros protocolos de comunicação (ETHERNET, MODBUS, etc.) são também disponíveis.

Desexcitação

A descarga de campo em condições normais é feita através do regime de inversão dos retificadores tiristorizados. Isto reduz drasticamente a duração da descarga de campo, elevando consideravelmente a vida útil do disjuntor de campo.

O emprego de um disjuntor no lado de C.A. da ponte retificadora tem muitas vantagens em relação aos antigos disjuntores de campo de corrente contínua. A principal vantagem é que numa descarga de campo a fonte alimentadora da excitação, i.e., o transformador de excitação, é completamente separado do retificador.

Em desligamentos de emergência, utiliza-se o disjuntor de campo, o qual está posicionado no lado de C.A. dos retificadores tiristorizados e é sempre equipado com duas bobinas de *trip*.
Um resistor linear de desexcitação é sempre inserido em paralelo com o enrolamento de campo,toda vez que o disjuntor de campo for desligado.

Proteção contra Sobretensões

A proteção do sistema de excitação e enrolamento de campo do gerador contra sobretensões originadas no lado C.C. é feita por uma chave estática composta por dois tiristores em conexão antiparalela (dispositivo Sicrowbar®, desenvolvido e fabricado pela Siemens).

A proteção de sobretensões Sicrowbar® constitui-se de 2 tiristores de potência em antiparalelo e de um dispositivo detector de sobretensões. Dependendo da amplitude e de acordo com a polaridade da sobretensão induzida no campo, será disparado um ou outro tiristor, que introduz a resistência de desexcitação no circuito de campo, descarregando, assim, a sobretensão.

Aspectos construtivos

Toda a aparelhagem de baixa tensão do sistema de excitação está instalada em painéis metálicos padronizados, com portas frontais e traseiras. Numa execução típica, com redundância N+1 nos retificadores, temos 4 painéis de dimensões totais 2400x1000x2300 mm (LxPxA). Os painéis são dotados de venezianas de refrigeração. O grau de proteção padrão é IP41.

As chapas de fechamento (portas, teto, laterais) são de espessura 1,9 mm; as chapas usadas na estrutura têm 2,65 mm de espessura.

Thyripol com dois reguladores automáticos de tensão e retificadores com redundância 1+1, projetados para hidrogeradores de 140 MVA.

A cor final padrão de acabamento é cinza claro Munsel N6,5. São possíveis, porém, quaisquer outras cores, conforme especificado pelo cliente. Os condutores têm isolação não propagadora de incêndio para 750V / 70ºC e são identificados por meio de anilhas em ambas as extremidades. Todos os aparelhos recebem etiquetas de identificação.

Diagnósticos

Todo acesso ao regulador de tensão, para leitura e alteração de parâmetros, é feita pelo software Drive Monitor, fornecido com o equipamento. Tal recurso é usado para comissionamento e diagnose do sistema de excitação. Ele fornece todos os valores *on-line* do regulador de tensão.

As principais características do software Drive Monitor são:

- Interface totalmente gráfica.
- *Help on-line* de cada parâmetro a ser avaliado ou alterado.
- Leitura, escrita e comparação de parâmetros *on-line*.
- Impressão dos parâmetros desejados.
- Transferência de parâmetros para outros sistemas de excitação idênticos.
- Armazena até as últimas 64 falhas ocorridas no regulador.
- Oscilografia de sinais analógicos e digitais - Função *Trace*.

A função *Trace* pode ser selecionada para armazenar e oscilografar até 8 sinais analógicos com tempos de amostragem selecionáveis. Cada sinal analógico não usado pode ser substituído por 16 sinais digitais. A variável a ser medida pode ser ativada livremente para oscilografia ou via *trigger* de alguma condição desejada. Desta forma, no comissionamento não são mais necessários os onerosos registradores gráficos multicanais.

É possível, também, iniciar a gravação do sinal antes do evento do *trigger* desejado. O tempo de amostragem do sinal a ser oscilografado pode ser parametrizado entre 3 ms e 300 ms.

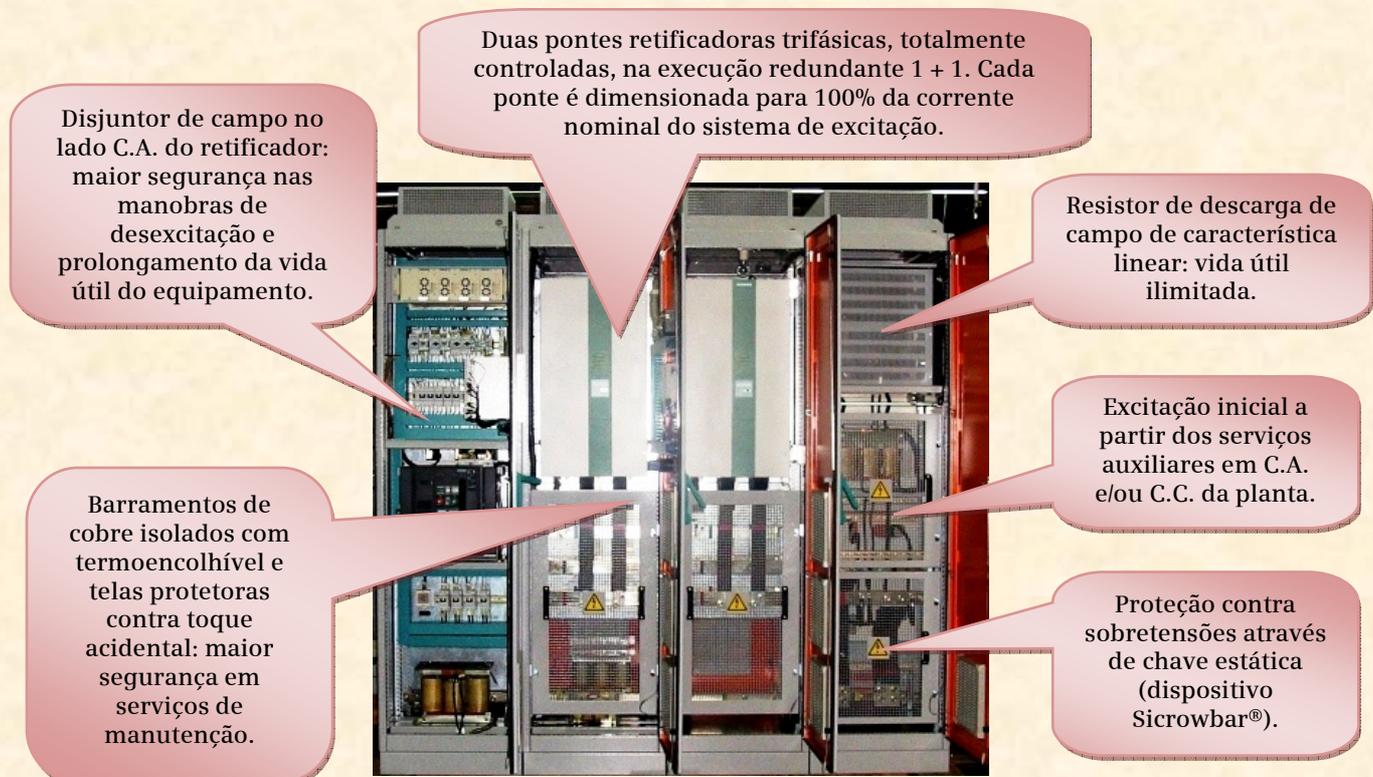
É gerada, automaticamente, uma base de dados da oscilografia totalmente compatível com o MS-Excel® para futura utilização.

Através do software de parametrização e diagnósticos Drive Monitor *é possível a oscilografia de grandezas analógicas e digitais.*

Um sistema de excitação Thyripol típico

No exemplo abaixo temos um sistema Thyripol projetado para uma corrente de campo máxima permanente de 1240 A. O sistema ilustrado possui 2 reguladores automáticos de tensão idênticos (2 canais automáticos). Além disso, o retificador possui redundância 1+1, ou seja, ele é constituído de 2 pontes retificadoras em paralelo, cada uma dimensionada para 100% das necessidades de excitação da máquina síncrona. Num dado instante, apenas uma ponte estará em operação, i.e., conduzindo a corrente de campo. Havendo falhas nesta ponte, a outra assume a condução instantaneamente,sem quaisquer oscilações na tensão do gerador.

Esta filosofia de operação é superior à tradicional, onde as pontes operam todas ao mesmo tempo, pois:

- Não há a necessidade de circuitos que garantam a distribuição uniforme da corrente entre as pontes;
- A redundância é de 100%;
- Cada ponte está associada a um regulador de tensão exclusivo;
- Pode-se dar manutenção num regulador enquanto o outro está operando;
- Ventiladores heavy-duty incorporados a cada ponte retificadora;
- A capacidade de condução, i.e., de conduzir a corrente do retificador em stand-by é permanentemente monitorada.

O projeto acima é apenas um exemplo, mostrando uma solução típica, que reflete, porém, a tecnologia e filosofias atuais. Na verdade, a Engenharia da Siemens está capacitada para atender a qualquer especificação de sistema de excitação, com características diferentes das descritas acima. Assim, podemos oferecer uma solução que atenda todas as necessidades do cliente.

Benefícios para o cliente

O sistema de excitação THYRIPOL resulta da vasta experiência da Siemens no desenvolvimento, projeto e fabricação de sistemas de controle, regulação e retificação. Ter a Siemens como parceira na regulação de tensão assegura ao cliente a certeza de ser assessorado pela maior fabricante mundial de equipamentos para a área de energia.

DESTAQUE	BENEFÍCIOS
Vasta experiência nesta área, consolidada pelo fornecimento de mais de 2000 sistemas de excitação desde 1966.	Soluções comprovadas, de alta confiabilidade e segurança.
Fabricação de sistemas de excitação no Brasil desde 1985.	Conhecimento das necessidades do cliente local.
Os componentes essenciais do sistema de excitação, como regulador de tensão, retificadores e disjuntor de campo, são produtos seriados e fabricados pela própria Siemens.	Certeza de qualidade, compatibilidade de componentes e garantia do fornecimento de sobressalentes.
Treinamento ao cliente na obra ou na Siemens, realizado pelos nossos engenheiros.	Sem qualquer dificuldade para aprender a operar e dar manutenção ao equipamento.
Engenharia, fabricação e testes no Brasil.	Contato direto com quem projeta e fabrica.
O próprio cliente acessa o software do sistema para diagnósticos.	Software aberto e amigável. Solução rápida de falhas.

A Siemens oferece a seus clientes treinamentos feitos sob medida, com programas definidos em conjunto com o cliente, de forma a atender suas necessidades quanto à operação e manutenção dos sistemas de excitação.

Conheça mais sobre as soluções da Siemens na área de sistemas de excitação e regulação de tensão de máquinas síncronas acessando www.siemens.com.br/excitacao.

Características gerais do sistema de excitação digital THYRIPOL D

Normas e prescrições	Prescrições do Submódulo 3.6 do ONS Prescrições da série IEEE Std421 Normas aplicáveis do IEC, VDE, DIN e ABNT
Corrente de excitação nominal do gerador	Até 3000 A DC *(Veja Nota 1)*
Máxima tensão de teto	Até 1200 V DC *(Veja Nota 1)*
Tensão de comando	110, 125 ou 220 V DC
Tensão auxiliar para escorvamento	Serviços auxiliares da usina, em corrente contínua (baterias) ou alternada. Tipicamente são necessários cerca de 15% da corrente de excitação a vazio, por no máximo 10 segundos.
Ligação a transformadores de potencial	3 x TPs (fases L1, L2 e L3) com secundário de 110, 115 ou 120 V (é possível a ligação “V” com 2 x TP); consumo de 10 VA por fase.
Ligação a transformadores de corrente	2 x TCs (fases L1 e L3) com secundário de 5 ou 1 A; consumo de 10 VA por fase.
Regulador	Totalmente digital, configurado como dois canais de controle: Automático (Regulador Automático de Tensão) e Manual (Regulador da Corrente de Excitação). Execução opcional com duplo canal automático.
Limitadores	• Rápido da corrente de excitação (*Field Forcing Limiter*), de ação instantânea • Sobreexcitação, com característica de tempo inverso • Subexcitação • Corrente estatórica, com característica de tempo inverso • Tensão/Freqüência (V/Hz)
Alimentação da eletrônica	Ocorre sempre de forma redundante: a partir do transformador de excitação e das baterias da usina.

Faixa típica de ajuste dos valores de referência (*Setpoints*)	• Tensão do gerador: 90% ... 110% • Corrente de Excitação: 10% ... 110% (o limite mínimo estende-se a 0% quando a alimentação do sistema é independente dos terminais do gerador)
Retificador	Trifásico totalmente controlado (B6C), com tiristores tipo disco.Refrigeração forçada através de ventiladores heavy-duty incorporados a cada ponte. Configuração redundante (1+1) opcional.
Consumo aproximado das baterias da usina	Circuitos de interface e comando: 500 W (permanente) / 1500 W (máx. 5 s)
Dimensões totais típicas dos painéis, numa execução com redundância N+1 no retificador	2400 x 1000 x 2300 mm (L x P x A)
Peso aproximado da execução acima	1500 kg
Grau de proteção padronizado	IP 41 (ou conforme especificação do cliente)
Cor final do acabamento	Cinza padrão Munsel N6.5 (ou conforme especificação do cliente)
Execuções especiais típicas	• Redundância (1+1) no retificador • Comunicação através de fibra ótica • Outros protocolos de comunicação diferentes do padrão (PROFIBUS DP) como, p.ex., Modbus ou TCP/IP.
Formas de comunicação com o comando e controle no equipamento padrão	• Convencional, através de contatos livres de potencial • Serial, com protocolo Profibus DP (RS485 ou fibra ótica)
Sinais analógicos padronizados de saída para indicação remota (4...20 mA) *(Veja Nota 2)*	• Corrente de campo • *Setpoint* de tensão • *Setpoint* de corrente • Tensão do gerador

Funções e características adicionais sempre integradas no equipamento	• PSS de potência acelerante, conforme IEEE Std421.5. • Proteção de sobretensões através de Sicrowbar® (o nível de atuação da proteção é definido durante o projeto de detalhamento e depende dos dados do sistema e gerador síncrono). • Regulador de potência reativa (ou fator de potência). • Transportabilidade de parâmetros. • Acesso a todos os parâmetros de ajuste , para visualização e alteração, diretamente através do teclado da unidade de parametrização incorporada ao regulador, sem necessidade de PC. • Software Drive Monitor fornecido junto com o equipamento, para comissionamento, testes e diagnósticos. Inclui o recurso de oscilografia para registro de sinais. • IHM touch screen colorida integrada na porta do cubículo. Opcionalmente, uma outra idêntica poderá ser fornecida para ser instalada na sala de operações.

Nota 1: Para geradores com corrente de excitação superior a 3000 A ou nos casos em que a tensão de teto seja superior a 1200 VDC, emprega-se o sistema THYRIPOL D executado com retificadores SITOR®.

Nota 2: Como padrão, o sistema dispõe de 4 saídas analógicas para as grandezas indicadas. Ao invés destas grandezas, o cliente poderá especificar quaisquer outras. Adicionalmente, poderão ser acrescentadas outras saídas, conforme a necessidade ou especificação.